

# 전기분해 관련 개념에 대한 고등학생, 예비 교사, 화학 교사들의 어려움에 대한 분석

박진희 · 백성혜 · 김동욱

(마산구암고등학교) · (한국교원대학교 화학교육과) · (대구교육대학교 과학교육과)

## An Analysis of Conceptual Difficulties in Electrolysis of High School Students, In-service Chemistry Teachers, and Chemistry Teachers

Park, Jin-Hee · Paik, Seung-Hey · Kim, Dong-Uk

(Masan Gu Am High School) · (Korea National University of Education) ·

(Taegu University of Education)

### ABSTRACT

This study examined the conceptions of high school students, In-service chemistry teachers, and chemistry teachers related to the electrolysis phenomena by questionnaires and follow-up interviews. High school chemistry II textbooks were analyzed for finding the cause of the misconceptions of the teachers and students. From the analysis, it was found that many teachers represented to students the reduction-oxidation reaction and the electrodes of electrolysis are opposite to the reaction of a chemical cell without explanation of the principles. It means that students would learn the electrolysis phenomena by rote. But the teachers thought that it was not necessary to explain the principles to students because the students could not understand. Also, some of the teacher had misconceptions in electrolysis of solution taking no account of water electrolysis. They only considered the reduction-oxidation reactions of the ions already were contained in solution. They did not considered the ions generated by the electrolysis. This tendency is similar to In-service chemistry teachers and high school students. Also, this tendency can be found in chemistry II textbooks.

**Key words:** misconception, chemistry teachers, in-service chemistry teachers, high school students, science textbooks, cause of misconception, electrolysis

### I. 서 론

화학 전지를 소재로 한 여러 편의 과학교육 논문들 (Finely, *et al.*, 1982; Butts & Smith, 1987, De Jong, *et al.*, 1995)은 공통적으로 교사와 학생들이 이에 관련된 개념을 제대로 형성하지 못하고 있음을 지적하였다. 이러한 연구들은 주로 학생들을 중심으로 오개념 연구(Allsop &

Geroge, 1982; Moran & Gileadi, 1989; Barral, *et al.*, 1992; Garnett & Treagust, 1992a; 1992b; Ogude & Bradly, 1994; 1996; Sanger & Greenbowe, 1997a; 1997b; Özkaya, 2002)를 하거나, 학생들의 오개념의 개선을 위한 교수법에 대한 연구(Runo & Peters, 1993; Burke *et al.*, 1998; Huddle *et al.*, 2000; Morikawa & Williamson, 2001)에 초점을 맞추었다. 그러나 일부 연구

들은 교과서 서술의 문제점을 제기하기도 하였다. 예를 들어 Ogude 와 Bradley(1994; 1996)는 화학전지에서 일어나는 전자와 이온의 이동에 관한 미시적인 관점을 학생들이 가지지 못하는 점을 들고, 이들의 이해 부족에 대한 원인을 교과서의 애매하고 충분하지 못한 설명 때문으로 보았다. Sanger 와 Greenbowe(1997a)는 수용액의 전기 분해과정에서 여러 개의 산화, 환원 반쪽 반응이 가능할 때, 학생들은 각 전극에서 어떤 반응이 일어날 것인가를 결정하지 못했으며, 또한 수용액 중의 물(H<sub>2</sub>O)은 반응하지 않는 것으로 무시하고 있음을 확인하였다. 이 결과는 Allsop 와 George(1982)가 학생들이 표준환원전위를 사용하여 생성물을 예상하는 데 어려움을 가진다고 보고한 결과와도 일치하였다. Sanger 와 Greenbowe(1999)는 선행 연구(Sanger & Greenbowe, 1997a; 1997b)에서 확인된 학생들의 오개념의 원인을 교과서의 불충분하고 부적합한 언어사용 때문으로 보고, 대학 화학교재를 분석하였다. 그 결과, 교재의 명백한 실수나 애매한 표현들, 충분하지 못한 설명들이 학생들로 하여금 부적절한 상황에 과일반화 하도록 만들고, 잘못된 생각을 유발하는 원인이라고 보았다. Özkaya(2002)도 예비교사들을 대상으로 전기화학에 대한 어려움을 밝히고, 그 원인이 전기화학에 관한 개념들을 충분하게 제공하지 못하기 때문이라고 보고, 이들의 이해를 돕기 위해서는 수업 또는 교재를 통한 충분한 설명이 필요함을 제안하였다. Stylianidou 등(2002)은 과학 교과서에 제시된 그림을 분석하여, 교과서 그림이 학생들의 학습에 매우 중요하므로 그림이 주는 이미지를 제대로 전달하기 위해서 교사들은 많은 시간과 노력을 기울여야 한다고 주장하였다. 또한 교과서 저자들에게는 주의 깊고 신중한 표현과 더불어 그림의 적절한하고 세심한 주의를 기울인 배치가 필요함을 주장하여 교과서 서술의 중요성을 강조하였다.

외국에서는 대학생을 대상으로 전해 전지의 이해에 대한 어려움을 조사한 연구(Allsop & George, 1982; Garnett & Treagust, 1992b; Sanger & Greenbowe, 1997a)가 일부 있었다. 국내에서도 화학교사들의 전기분해에 대한 전반적인 이해를 알아본 연구(신화정, 1998)가 드물게 있었으나, 화학전지를 배우는 고등학생들과 예비 교사들, 그리고 이를 가르치는 화학 교사들이 겪는 어려움의 원인에 대하여 구체적으로 알아본 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 이 연구에서는 이를 설문과 면담을 통하여 자세하게 알아보았다. 특히 Pardhan 과 Bano(2001)

가 지적한 바와 같이, 교사의 대안 개념은 교사 자신의 학습경험과 관련 있다는 주장을 고려하여 예비 교사들의 어려움도 같이 조사하였다. 그리고 교사들과 학생들이 사용하는 교과서를 분석하여 그 어려움의 원인을 찾아보고자 하였다. 이는 선행연구들(Garnett & Treagust, 1992a; 1992b; Ogude & Bradly, 1994; 1996; Sanger & Greenbowe, 1997a; 1997b; Özkaya, 2002)에서 지적한 것과 같이 학교에서 사용하는 가장 기본적인 학습 자료(최경희, 1997)이며 학생들과 교육자들 사이의 의사소통을 담당하는 것이 바로 교과서이기 때문이다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

연구 대상으로는 고등학교 화학교사 17명을 선발하였다. 이들은 대학원에서 석사학위를 받고 있는 교사들이었다. 또한 예비교사로는 대학교 화학교육과에 재학 중인 4학년 학생들 17명을 선발하였다. 고등학생의 경우 화학 II 교과서를 배운 3학년을 선발하는 것에 어려움이 있어서 그 대신 대학교에 입학한 화학교육과 1학년 학생 18명을 대상으로 하였다. 이들의 대학교 교육의 영향을 배제하기 위하여 이들에 대한 연구는 3월초에 이루어졌다. 연구 대상인 교사들은 남자 9명, 여자 8명이었으며, 이들의 교육 경력은 5년 미만이 1명, 5년 이상 10년 미만이 11명, 10년 이상 15년 미만이 3명, 15년 이상 20년 미만이 1명, 20년 이상이 1명이었다. 예비교사들은 남자 3명과 여자 14명이었다. 이들의 연령은 거의 동일하였으며, 이들은 모두 일반화학과 분석화학 등 전기화학에 관련된 대학교 과정을 이수하였다. 고등학교에서 전기화학을 배운 집단으로 구분된 대학교 신입생들은 남자 6명, 여자 12명이었으며, 이들의 연령은 거의 동일하였다. 이들은 아직 대학교에서 전기화학에 관련된 내용을 배우지 않은 상태였다.

### 2. 연구 절차

선행 연구를 토대로 전해전지와 관련된 개념의 어려움을 분석한 후, 현행 고등학교 교육과정에 맞추어 설문지를 개발하였다. 개발한 설문지는 예비 검사를 통해 일차 수정을 한 후, 과학교육전문가와 화학교사 3인의 검토를 통해 최종 수정, 보완하였다. 또한 설문지에 응한 연구 대

상자들의 생각을 보다 구체적으로 알아보기 위하여 학생, 현직교사, 그리고 예비교사집단에서 대상을 선발하여 면담을 실시하였다. 면담은 설문을 통해 수집한 자료를 보강하는데 목적을 두었다. 설문자료를 토대로 이루어진 면담은, 비교적 자유롭게 대화하는 비구조화 면담이었다. 질문의 절차와 반응은 강요나 제한이 없는 개방적 형식이었다. 면담 대상은 자원자 위주로 하였으며, 설문지를 분석한 결과 필요하다고 판단된 경우에는 연구자가 면담 대상을 직접 선정하였다. 학생집단은 그룹 면담을 실시하였는데, 이 경우 대화는 매우 활발하게 진행되었으나, 연구대상자들끼리 서로 영향을 미치는 단점이 있었다. 따라서 현직교사와 예비교사들의 경우는 개별면담을 실시하였다. 면담에 소요된 시간은 매회 30~40분 정도였다. 분석대상 교과서는 고등학교 화학 II 교과서 12종(송호봉과 정용순 2000; 박택규 등, 2000; 이운주 등, 2000; 김시중 등, 2000, 박원기와 윤석진, 1999; 이원식 등, 2000; 소현수 등, 2000; 정구조 등, 2000; 최병순 등, 1998; 오제직 등, 1997; 여수동 등, 2000; 우규환 등, 1997)이다.

### 3. 설문지 내용 구성 및 설문과 면담 자료 처리

설문지를 통해서 페놀프탈레인을 몇 방울 떨어뜨린 NaI 수용액에 두 개의 탄소전극 A, B를 담근 상황을 제시하였다. 이때 탄소 A극은 외부전원의 (-)극과, 탄소 B극은 외부전원의 (+)극과 연결된 Fig. 1의 장치를 보여주었으며, 이를 통해 연구 대상자들의 전기분해에 대한 이해를 알아보았다. 설문은 2개의 문항으로 구성하였다. 첫째 문항에서는 외부에서 걸어준 전기에너지에 의해 일어나는 비자발적인 전기분해 과정을 이해하고 있는가 알아보기 위하여 전해전지에서 산화전극과 환원전극을 어떻게 결정하는지 물어보았다. 둘째 문항에서는 각 전극에서의 전기분해 생성물을 예상하고, 페놀프탈레인에 의해 색깔 변화가 일어나는 쪽이 있는가를 물었다. 둘째 문항의 물음을 통해서 전극반응에 대한 잘못된 이해가 어떤 오류를 가져오는지 알아보려고 하였다. 설문의 구체적인 내용은

Table 1과 같다.

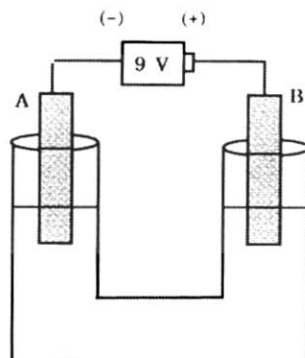


Fig. 1. Electrolysis apparatus of 0.1M NaI(aq) added phenolphthalein

설문결과를 선택형 문항의 경우 응답률을 응답자의 수와 백분율로 나타내었다. 응답 선택에 대한 이유를 묻는 경우는 응답내용을 분석하여 같은 유형의 답을 범주화하여 유형별로 응답자의 수를 나타내었다. 면담한 대화는 모두 녹음하였고, 녹음한 자료는 2일 이내에 전사하여 기록하였다.

## Ⅲ. 결과 및 논의

### 1. 전해전지에서의 전극 결정

Fig. 1의 전기분해장치에서 산화반응이 일어나는 전극과 환원반응이 일어나는 전극을 옳게 응답한 경우에 그 이유 설명에 따라 유형을 범주화하여 분류하였고, 전극 결정을 바르게 하지 못한 응답은 기타로 분류하였다. 그리고 고등학교 화학 II 교과서의 설명 유형을 분석하여 응답자들의 서술유형과 관련지어 Table 2에 함께 제시하였다.

Table 2에서 예비교사 3명을 제외한 모든 응답자들이 전기분해반응에서는 외부전원의 (-)극과 연결된 A극에서 환원반응이, (+)극과 연결된 B극에서 산화반응이 일어난

Table 1. The contents of the questionnaire

Contents
How do you determine which electrode is anode in Fig. 1? Why do you think so?
What products are generated at each electrode? Which electrode shows color change by the phenolphthalein? Why do you think so?

**Table 2.** Type of response about determining of the anode and the cathode in electrolytic cell

Determining of electrode	Type of response Reason	Number of response(%)			Textbook explanation type (n=12)
		Students (n=18)	In-Service teachers (n=17)	Teachers (n=17)	
A(-): cathode B(+): anode	By the connection of the terminals of battery*	4(22)	5(29)	7(41)	1( 7)
	Electrolytic cell is opposite to galvanic cell	13(72)	5(29)	5(29)	2(14)†
	Charged electrode attracts counter charged ion	0( 0)	4(24)	4(24)	8(57)
	No idea	1( 6)	0( 0)	1( 6)	3(22)
The others		0( 0)	3(18)	0( 0)	0( 0)

\* Scientific concept  
† 다음 항목에도 포함됨

다는 사실을 잘 알고 있었다. 그러나 A극을 산화전극, B극을 환원전극으로 결정하게 된 이유에 대한 설명은 다양했다. 현직교사들은 41%만이 전기분해전극반응은 외부에서 걸어준 전원의 (-)극, (+)극 중 어느 전극과 연결되어 있는가에 의하여 결정된다고 응답하였다. 교사들의 29%는 '전기분해반응은 화학전지에서 일어나는 전극반응과 반대'라고 생각하고 있었다. 특히, 학생들은 72%라는 높은 비율이 이렇게 응답하였다. 예비교사들의 경우는 뚜렷하게 드러나는 대표적인 개념유형은 없었으며, Table 2에서 제시한 세 가지 유형의 관점에 대하여 비슷한 응답률을 나타내었다. 또한 (-)극으로는 반대전하를 띤 양이온이 끌려가므로 환원반응이 일어나고, (+)극으로는 음이온이 끌려가서 산화된다'는 개념유형에 대한 응답률은 예비교사와 현직교사들은 각각 24%였으나, 학생들에게서는 전혀 나타나지 않았다. 전기분해반응에 대한 고등학교 화학Ⅱ 교과서의 설명 유형을 분석한 결과, 12종의 교과서 중 8종이 전기분해 전극반응을 '하전된(charged) 전극과 반대전하를 띤 이온과의 인력'으로 산화, 환원 반응을 서술하였다.

면담을 통하여 현직교사들의 생각을 보다 구체적으로 알아본 결과, 면담한 6명중 3명은 '전기분해에서 산화전극과 환원전극은 걸어준 외부 전원에 의해서 결정된다'라고 응답하였다. 다음은 그 중, 현직 교사 1과의 면담이다. 교사 자신은 전기분해과정에 대한 이해가 명확했으나, 학생들에게는 '전기분해과정은 화학전지의 반대로 생각하면 된다'고 가르친다고 하였다.

면담자: 전기분해에서 일어나는 전극반응을 학생들에게는 어떻게 설명하세요?  
현직교사1: '반대로 생각하면 된다'라고 하구요. .... 그....(웃으며) 반대로 일어나잖아요.

다음은 면담한 6명 중 유일하게 '전기분해는 화학전지와 반대'라는 설명으로 전해전지에서 산화전극, 환원전극을 결정한 교사 2와의 면담내용이다.

면담자: 전기분해에서 (-)극에서 환원, (+)극에서 산화반응이 일어나게 되는 과정을 학생들에게 어떻게 설명하세요?  
현직교사2: .....(중략)..... '왜 이쪽에서 환원반응이 일어난다' 하는 얘기는 안 했던 거 같아요.  
면담자: 그럼?  
현직교사2: 네. 결과적으로 반대다 하는 것만. 전기분해 반응하고 전지의 반응은 반대로 일어나고 있다고 이렇게만 얘기해 준 것 같아요.....(중략)..... 애매한 건 아예 언급을 안 해요. 모르는 거 얘기했다가 헛갈린다고.

교사 2는 교사 자신이 가진 개념은 물론이고, 학생들에게도 설명에 대한 이해 없이 전기분해반응을 기계적으로 '전기분해와 화학전지반응은 반대'라고 설명하고 있었다. 그 이유는 교사 자신이 전기분해에 대한 이해가 충분하지 않기 때문이기도 했지만 가르칠 때에는 그 방법이 가장

간단하고 명료한 것이라고 생각하고 있었다. 이러한 현상은 앞서 제시한 교사 1의 면담에서도 나타났다. 이는 교사들이 전기분해의 원리를 학생들에게 가르칠 때, 과학원리에 대한 과정을 이해시키기보다는 결과로 나타나는 사실만을 전달하는 데 중점을 두고 있음을 보여준다. 그 결과, Table 2에서 현직교사의 응답과 화학 II 교과서의 설명유형에서는 낮은 비율을 차지했던 이 개념유형이 학생들에게서는 72%라는 높은 응답률을 나타낸 것으로 보인다.

다음은 전기분해 과정을 '하전된(charged) 전극과 반대 전하를 띤 이온들의 인력'에 의한 반응으로 설명한 교사와 면담한 자료 중 일부이다.

면담자: 전기분해장치의 A극에서 환원반응이 일어나는 과정을 설명해 주신다면?

현직교사3: 그런데 인제 A극이 (-)극 아납니까. 그죠? 그러니까 전해질이 있으면 양 전하가 A극 쪽으로 반대전하를 갖기 때문에 끌려갈 것 아납니까. 양 전하가 끌려가서 .....〈중략〉..... 전자를 얻어 수소기체가 되는 환원반응이 일어나겠쎄. 저는 그렇게 설명하거든요.

교사 3이 가지고 있는, 하전된 전극과 반대전하를 띤 이온과의 인력'으로 전기분해과정을 설명하는 이 유형은 12종의 고등학교 화학 II 교과서 중, 8종이 이 유형으로 서술하고 있었다. 다음은 한 교과서(오제직 등, 1997)의 본문내용이다.

---

전기 분해될 때 전해질의 양이온은 (-)극으로 끌려가서 환원되고, 음이온은 (+)극으로 끌려가서 산화된다.....〈중략〉..... 이와 같이, 전지와 전기분해에서는 각 전극에서 일어나는 반응이 서로 반대가 된다.

---

위에 제시한 교과서에서는 전기분해의 전극반응 과정에 대한 설명 없이 반응결과만 서술하고 있기 때문에, 이러한 서술로부터 외부전원에 의해 산화전극, 환원전극이 결정된다는 사실을 이해하기는 어려울 것이다. 따라서 이와 같이 충분하지 못한 교과서의 설명을 접하는 교사들은 결국 화학전지와 전기분해는 반대라고 받아들여 앞의 면담 내용에서 제시된 바와 같이 학생들에게 '반대로 생각하라'고 가르치게 될 것이고, 학생들은 화학전지와 전기분

해는 반대라는 사실 외에 전기분해에 대하여 이해하는 지식은 아무 것도 없을 것이다.

다음은 학생 6명과 면담한 자료의 일부이다. 면담한 학생 6명은 모두 자신의 응답에 대한 설명을 '전기분해는 화학전지와 반대'이기 때문이라고 하였다.

면담자: (작성한 설문지를 보며)전기분해에서 각 전극에서의 반응은 전지와 반대라고 적었구나. 왜 반대가 되는 걸까?

학생 1: 고등학교 때 배울 때 그냥 중요한 거만 짚어 주기로 배워 가지고, 그냥 반대가 된다고 외웠거든요.

학생 2: 저도 그렇게 배웠기 때문에 적었는데 그때는 이해했었는데 지금은 쓰려고 하니깐 반대라는 것 외에는...

학생들의 전기분해과정에 대한 이해부족은 면담을 통해서도 잘 드러났다. 이는 앞서 제시한 현직교사들과의 면담에서 나타났듯이, 교사들이 학생들에게 복잡한 내용을 전달하기 보다는 단순하고 명확한 교수방법을 선호하여 과정에 대한 설명 없이, '전기분해는 화학전지와 반대로 생각하면 된다'로 가르친 결과와 무관하지 않을 것이다.

다음은 예비교사와 면담한 내용이다. 면담한 6명 중, '전기분해반응은 화학전지와는 반대'라고 응답한 2명과 의 면담내용이다.

면담자: 전기분해는 화학전지의 반대라고 적었는데 왜 반대가 되는 걸까요?

예비교사1: ..... 외울 때 전기분해는 화학전지와 반대라고 외웠던 거 같거든요. 그렇게 외웠던 거 가지고 설문에 답한 겁니다.

면담자: 전기분해는 화학전지의 반대라고 적었는데 왜 반대가 되는 걸까요?

예비교사2: .....〈중략〉..... 전지하고 전기분해는 반대로 전자가 이동한다고.. 그렇게 알고 있거든요. 전지는 (-)쪽에서 (+)쪽으로 이동하고, 전기분해에서는 (+)쪽에서 (-)쪽으로 전자가 이동하는 거잖아요. ....〈중략〉.....

예비교사 1과 2는 '전기분해는 화학전지와 반대'라는

사실 외에는 알고 있는 지식이 부족하여 면담의 진행이 더 이상 어려웠다. 면담한 나머지 4명도 전기분해에 대한 이해가 부족했다.

면담자: 화학전지, 전기분해 둘 다 산화반응이 일어나는 쪽이 (-)극이라면, 화학전지와 전기분해 반응의 메카니즘이 같은가요?

예비교사3: 달라요.

면담자: 어떤 식으로 다른가요?

예비교사3: .....〈중략〉..... 화학전지는 실험할 때 보면 비커가 다르잖아요.....〈중략〉.....근데 전기분해는 이렇게 두 개가 따로 있던 게 아닌 거 같은데?.....(잠깐 동안 말이 없음)

면담자: 전기분해는 하나의 용기에서 반응한다는 뜻인가요?

예비교사3: 네.

면담자: 볼타전지도 하나의 용기에 두 개의 전극을 담았는데? .....〈중략〉.....

예비교사3: 음.....제 기의 속에는 화학전지 하면 다니엘 전지가 많이 남아 있나 봐요. 그리고 고등학교 책에 이게 뒷부분에 나오잖아요. 그래서 소홀한 면도 있었던 거 같았어요.

예비교사 3은 화학전지와 전기분해의 차이를 표면으로 보이는 것으로만 구별하여 화학전지는 두 개의 비커를 이용한 반응이고, 전기분해는 한 개의 비커를 사용하는 것이라고 구분하기도 하였다. 4년 동안 대학교육을 받은 예비교사가 자신의 전기분해에 관한 지식의 부족이 고등학교 교육 때문이라고 한다면, 이 사실은 고등학교 교육의 중요성을 말함과 동시에 현재 대학에서의 예비교사 교육이 중등학교에서 가르치는 교육내용과 적절한 연계성이 없음을 시사한다고 볼 수 있다.

현직교사, 학생, 예비교사의 면담에서 나타난 공통점은, 이들 모두 전기분해는 화학전지와 반대라고 암기하고 있는 사실 외에, 전기분해에 대한 이해가 매우 부족하다는 사실이다. 이는 전기분해 과정에 대한 교과서의 충분하지 못한 설명과도 관련이 있을 것으로 생각된다. 현직교사들은 학생들에게 애매한 개념은 전달하지 않고, 명확하게 '화학전지와 전기분해는 반대'라는 사실을 가르친다고 했고, 학생들은 고등학교 때 중요한 것만 배워 '반대'라는 사실 외에는 알고 있는 것이 없다고 진술했다. 그리고 이

제 곧 현장으로 나가 학생들을 가르치게 될 예비교사들은 전기분해를 외부에서 가해준 전기에너지에 의한 비자발적인 반응이라는 사실보다는, '반대'라는 개념을 과일반화하여 화학전지와 전기분해에서는 전자의 이동방향까지 반대라고 생각하는 경우도 있었다. 즉 화학전지에서는 전자가 산화극에서 나와 환원극으로 가지만, 전기분해에서는 전자가 환원극에서 나와 산화극으로 간다고 생각하였다. 이와 같이 현직교사가 가지는 개념이 학생에게 그대로 전달되고, 예비교사들 또한 대학교육을 통하여 개념이해 수준에 별다른 진전이 없다면, 이러한 순환을 막기 위해 가장 절실하게 요구되는 것은 예비교사와 현직교사들을 위한 교육의 필요성일 것이다.

## 2. 페놀프탈레인에 의한 색 변화

Fig. 1의 페놀프탈레인 지시약을 첨가한 NaI 수용액을 전기 분해할 때, 페놀프탈레인에 의한 색 변화가 나타나는 극에 대한 물음의 응답결과를 Table 3에 나타내었다. 응답결과는 네 가지 유형으로 분류하였다. A, B 두 극에서 동시에 붉게 변한다고 한 응답과, 색 변화가 없다고 한 응답은 기타로 분류하였다. A극 쪽에서 색 변화가 있다고 응답한 경우는, 그 응답에 대한 이유 설명이 다양하여 이유에 따라 다시 응답유형을 세 가지로 분류하였다.

Table 3에서 외부전원의 (-)극과 연결된 전기분해 장치의 A극 쪽이 페놀프탈레인에 의해 붉게 변한다고 옳게 응답한 경우는 학생 39%, 예비교사 47%, 현직교사 71%였다. 현직교사의 경우 11%가 B극 쪽이 변색될 것이라고 잘못 이해하고 있었다. 또한 학생의 33%와 예비교사의 29%는 잘 모르겠다고 응답하여, 이들이 전기분해반응에 대한 이해가 상당히 부족하다는 사실을 알 수 있다.

Table 3의 결과에서 나타난 특징 중 하나는, A극 쪽에서 붉게 변한다고 옳게 응답한 경우에도, 그 응답에 대한 이유 설명은 세 가지의 다양한 관점으로 설명하고 있다는 점이다. 세 관점 중, 가장 과학적인 응답인 'A극(-)극에서 물이 전기분해 되어 OH<sup>-</sup>가 생성되므로 (-)극 주위가 페놀프탈레인에 의해 붉게 변한다'고 이해하고 있는 학생들은 아무도 없었다. 예비교사와 현직교사들의 경우도 각각 4명뿐이었다.

A극 쪽에서 붉게 변한다고 생각한 연구 대상자들이나 B극 쪽에서 붉게 변한다고 생각한 연구 대상자들은 대부분 그 원리로 이온이 반대 전하를 띤 극으로 이동한다는

**Table 3.** Type of responses about electrode which color change occurring by phenolphthalein in electrolysis of NaI(aq)

Electrode	Type of response Reason	Number of response(%)			Textbook explanation type (n=12)
		Students (n=18)	In-Service teachers (n=17)	Teachers (n=17)	
A(-)	By formation of OH <sup>-</sup> from the reduction of H <sub>2</sub> O : 2H <sub>2</sub> O + 2e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> + 2OH <sup>-*</sup>	0( 0)	4(23)	4(23)	1( 8)
	By the interaction of (-) charged electrode with Na <sup>+</sup> to form NaOH(aq)	5(27)	2(12)	1( 9)	0( 0)
	By the relative increase of OH <sup>-</sup> due to the reduction of H <sup>+</sup> to form H <sub>2</sub>	2(12)	2(12)	7(39)	2(17)
	The others	0( 0)	0( 0)	0( 0)	2(17)
	Sub-total	7(39)	8(47)	12(71)	5(42)
B(+)	By the movement of OH <sup>-</sup> to B electrode	4(22)	2(12)	3(11)	0( 0)
The others		1( 6)	2(12)	1( 9)	0( 0)
No idea		6(33)	5(29)	1( 9)	7(58)

\* Scientific conception.

생각을 가지고 있었다. 그러나 이들은 전기분해에 의해 OH<sup>-</sup>가 생성된다고 생각하지는 않았으며, 원래 수용액에 H<sup>+</sup>나 OH<sup>-</sup>가 존재한다고 생각하였다. 물론 중성인 물 1몰에는 10<sup>-7</sup> 몰만큼 H<sup>+</sup>나 OH<sup>-</sup>가 존재하지만, 이는 반응에서 고려할 만한 양이 아니다. 그러나 대다수의 연구 대상자들은 이러한 점을 생각하지 못하고 있었다. 이들 중에 A극이 붉게 변한다고 응답한 경우는 H<sup>+</sup>가 (-)극인 A극으로 끌려가 A극에서 H<sup>+</sup>이 환원되어 수소기체가 생성되면, 상대적으로 A극 쪽에 OH<sup>-</sup>가 많아지므로 A극이 붉게 변한다고 생각하였다. 반면에 B극이 붉게 변한다고 생각하는 경우에는 수용액 중의 OH<sup>-</sup>가 (+)극인 B극으로 끌려가 붉게 변한다고 생각하였다. 이들의 생각을 보다 상세히 알아보기 위하여 면담한 자료는 다음과 같다.

면담자: (작성한 설문지를 보며) A극 쪽이 붉게 변하는 이유를 'OH<sup>-</sup>이 상대적으로 많기 때문'이라고 하셨는데 앞선 면담에서는 전해질의 음이온은 양극 쪽으로 간다고 하셨죠?  
(현직교사 4는 전기분해에서는 (-)극, (+)극 대신에 음극, 양극 표현을 사용하였음)

현직교사4: 네

면담자: 그럼 여기서 수용액 중의 음이온인 I<sup>-</sup>와 OH<sup>-</sup>가 B극 쪽으로 이동하는 건가요?

현직교사4: 음. 예. 아..... 근데 OH<sup>-</sup>가 B극 쪽으로 간다고 하더라도.....<중략>.....전체 수용액 중의 OH<sup>-</sup>이 100% 모두 가는 것이 아니거든요. 그래서 저는 상대적으로 수를 양적으로 비교해 본다면 음... B극 쪽에도 OH<sup>-</sup>이 많긴 하지만, 그래도 이쪽에도(B극 쪽 외 전체 수용액 부분을 가리키며) OH<sup>-</sup>이 있고.. 그래서 A극 쪽의 OH<sup>-</sup>이 페놀프탈레인에 의해서 붉게 변할 것 같아요.

현직교사 4는 설문에서 A극(-)극으로 끌려간 H<sup>+</sup>이 환원되어 수소기체가 발생하면 (-)극에서 상대적으로 OH<sup>-</sup>이 많아지게 되므로 (-)극 쪽에서 용액의 색깔이 붉게 변한다고 응답하였다. 그리고 면담에서는 음이온인 OH<sup>-</sup>는 B극(+극) 쪽으로 끌린다는 생각도 같이 가지고 있음을 드러내었다. 그러나 두 전극 주위에 모두 존재하는 OH<sup>-</sup>가 어느 전극 쪽에 더 많은가는 설명하지 못했다. 따라서 이를 비교해야 할 상황에서 판단 기준을 명확하게 드러내지 않고 무조건 자신이 설문에서 답한 내용, 즉 A극(-)극이 붉게 변한다는 주장을 반복하였다.

Table 3에서 분석한 12종의 화학 II 교과서 중 5종에서는 전기분해과정에 의한 수용액의 색성 변화에 관한 언급이 있었다. 그 중 1종은 (-)극에서 물의 환원으로 생긴

OH<sup>-</sup>에 의해 용액의 색깔이 붉게 변한다고 서술하였다. 이 설명을 연구에서는 과학적 개념으로 분류하였다. 기타로 분류한 2종은 교과서에 제시된 실험과정 중, 용액의 색깔이 붉게 변하는 쪽이 어느 쪽인가를 묻는 물음만 있는 경우이다. 따라서 결과와 그 이유에 대한 설명은 교사의 재량에 달려있기 때문에 어떠한 설명 유형으로 분류하기가 어려워져 기타로 분류하였다. 지식약의 색변화를 설명한 다른 2종에서는 H<sup>+</sup>가 (-)극인 A극으로 끌려가 A극에서 H<sup>+</sup>이 환원되어 수소기체가 생성되면, 상대적으로 A극 쪽에 OH<sup>-</sup>가 많아지므로 A극이 붉게 변한다고 설명하고 있다. 따라서 가장 많은 비율(39%)의 교사들이 이러한 잘못된 설명으로 A극이 붉게 변한다고 응답한 이유를 교과서 서술에서 찾아볼 수 있었다.

문제는 이러한 설명 유형이, 현직 교사 4의 면담 결과에서도 드러난 것처럼, 용액 내에 존재하는 OH<sup>-</sup>의 양에 대한 관점에서 혼란을 유발하기 때문에 이 설명을 충분히 생각한다면 설명의 논리를 이해하기 어렵다는 점이다. 논리적으로 이해되지 않는 설명을 받아들이기 위해서는 면담에 응한 현직 교사 4와 같이 논리의 상충을 적당히 피하면서 결과만 받아들이고 암기하는 수밖에 없게 될 것이다.

수용액 중의 음이온인 OH<sup>-</sup>가 (+)극인 B극 쪽으로 끌리기 때문에 B극 쪽이 붉게 변한다고 응답한 현직 교사 2명과 면담내용은 다음과 같다.

면담자: (설문을 보며) 페놀프탈레인의 색깔변화가 나타나는 곳을 B극 쪽으로 OH<sup>-</sup>가 모이니까, 라고 적으셨군요.....〈중략〉.....

현직교사5: 네

[중략]

면담자: 학생들에게 전기분해과정에서 이온이 이동하는 걸 어떻게 설명하세요?

현직교사5: 애들한테는 그런 거 없어요. (+)이온은 (-)극 쪽으로, (-)이온은 (+)극 쪽으로 옮겨 갈 거다. 전해질에서 전류가 흐르는 이유 설명할 때, (+)이온이 움직여서 (-)극 쪽으로, (-)이온은 (+)극 쪽으로, 그것만 얘기하지, 다른 것들은 얘기를 못 하거든요. (웃으며) 알지도 못해요.

면담자: (설문의 응답을 보며) NaI 수용액의 전기분해에서 B극 쪽으로 끌려가는 이온은?

현직교사6: 요오드화이온(I<sup>-</sup>), 수산화 이온(OH<sup>-</sup>).

[중략]

면담자: (설문을 보며) 페놀프탈레인에 의해 B극 쪽이 붉게 변한다고 하셨군요.

현직교사6: B극에서 붉게 변하는 것은.....〈중략〉..... B극에는 I<sub>2</sub>가 만들어지기 때문에 OH<sup>-</sup>가 남아 있을 거 아뇨. 그죠? 그래서 남아있는 OH<sup>-</sup>에 의해 붉게 변한다고 생각해요.

현직교사 5와 6은 수용액의 전기분해과정에서 음이온인 OH<sup>-</sup>는 (+)극 쪽으로 끌리므로 (+)극 쪽이 붉게 변한다고 응답하였다. 이와 같은 결과는 수용액의 전기분해과정에서 일어나는 산화, 환원반응에서 물의 반응을 고려하지 않고, 수용액 중에 극소량이 존재 할 뿐인 H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup>을 고려하여 전기분해 생성물을 예상하기 때문에 나타나는 현상이라고 할 수 있다. 이는 대다수의 교사들과 예비 교사들, 그리고 학생들이 전기분해의 과정을 제대로 이해하지 못하기 때문에 나타나는 현상이라고 본다. 그럼에도 불구하고 현직 교사 6과 같이 교사들 중에는 학생들이 이해하지 못하기 때문에 이러한 현상의 원리를 자세히 가르칠 필요가 없다고 생각한다는 점은 교육에 대해 시사하는 바가 크다.

A극(-)이 붉게 변한다고 응답한 학생 5명과 예비교사 2명, 그리고 현직교사 1명은 Na<sup>+</sup>가 (-)극인 A극 쪽으로 다량 끌려가 있으므로 Na<sup>+</sup>가 있는 곳으로 OH<sup>-</sup>이 끌려가서 NaOH가 생성되기 때문에 A극 쪽이 페놀프탈레인에 의해 붉게 변한다고 설명하였다. 이는 연구 대상자들이 페놀프탈레인의 색변화가 OH<sup>-</sup> 때문이 아니라 NaOH 때문에 일어난다고 생각함을 드러내는 것이다. 즉 이들은 전기 분해에 대해 거의 모르고 있을 뿐만 아니라, 지식약의 기본적인 성질에 대해서도 모르고 있음을 알 수 있다. 다음은 학생과 면담한 내용이다.

면담자: (-)극에서 NaOH가 생성되어 색깔이 변한다고 했구나.

학생 3: H<sup>+</sup>이... 수용액이니까 물 속에 OH<sup>-</sup>과 Na<sup>+</sup>의 이온화도가 높아서 용액에 Na<sup>+</sup>로 남아있고 전하 플림에 의해서 (-)극 쪽으로 많이 분포하면, NaOH가 생겨서 붉은 색으로 변하는 거죠.

[중략]

면담자: (설문지의 응답을 보며) OH<sup>-</sup>는 전체적으로



어느 쪽에 분포해 있을까?

학 생 3: (+)극 쪽...

이 학생 역시 현직 교사 4와 마찬가지로 극의 반대 전하를 띤 이온이 끌려간다는 생각과 교과서에 설명 없이 제시된 현상의 암기 사이에서 혼란을 느끼는 것으로 나타났다.

Table 2의 고등학교 화학Ⅱ교과서를 분석한 결과에서 나타났듯이 12종의 교과서 중 6종의 교과서에서 전기분해 과정을 '양이온은 (-)극으로, 음이온은 (+)극으로 끌려가서 산화, 환원된다'는 것으로 서술하고 있기 때문에 현직 교사들조차 전기분해반응에서 이미 존재하는 이온들만을 고려하는 경향이 있었다. 따라서 대다수의 연구 대상자들이 전해질용액의 전기분해과정에서 물이 전기분해 되어 이온을 형성한다는 사실을 고려하지 못하였다.

#### IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 화학교사와 학생들, 그리고 화학을 전공하는 예비 교사들을 대상으로 하여 전기 분해에 대한 이해를 알아보았다. 또한 이들이 어려움을 가지는 원인으로 교과서의 내용을 분석하여, 충분하지 못하거나 오류를 유발할 수 있는 서술의 문제점을 지적하였다.

연구 결과, 학생들 뿐 아니라 예비 교사들과 현직 화학 교사들까지도 수용액의 전기분해에서 물(H<sub>2</sub>O)이 전기분해하면서 이온을 생성한다는 사실은 모르고 있었다. 이러한 문제가 발생한 원인은 교과서의 서술과도 관련이 있었다. 대부분의 화학Ⅱ교과서에서는 전기분해 과정을 양이온은 반대 전하를 띤 (-)극(cathode)으로, 음이온은 (+)극(anode)으로 끌려가서 산화, 환원되는 것에 초점을 두고 있다. 따라서 이를 배우거나 가르치는 학생과 교사들은 수용액 내에 이미 존재하는 이온들이 전기분해 반응에 관여한다고 생각하게 되는 것이다. 교과서 설명이 없기 때문에 이에 대한 학생들과 예비 교사들, 그리고 현직 화학 교사들의 다양한 오개념이 나타나게 되었다고 본다. 따라서 앞으로 이러한 내용을 다루는 화학교과서에서는 이 연구의 결과를 고려하여, 전기분해 과정에서 생성되는 이온들과 이들의 산화환원 반응에 대한 내용을 보다 명확하게 제시함으로써 전기분해에서 교사들과 학생들이 가질 수 있는 혼동을 미연에 방지하는 노력이 필요하다고 본다. 이미 여러 선행연구들(Garnett & Treagust, 1992a;

1992b; Ogude & Bradly, 1994; Sanger & Greenbowe, 1997a)에서 지적한 바와 같이 학습자와 교사의 개념 형성에 가장 큰 영향을 미치는 것은 교과서이기 때문이다. 또한 한번 형성된 오개념은 견고하게 자리를 잡기 때문에 비록 앞으로 개발된 교과서의 서술이 바뀌더라도 현재 화학 교사들과 현재 교육받고 있는 예비 교사들은 이미 전기 분해에 대한 오개념을 가지고 있다고 볼 수 있다. 특히 이 연구에서 대상이 되었던 예비 교사들은 이미 대학교 3년의 과정을 마친 대학 4학년 과정이었기 때문에 곧 졸업과 함께 현직교사로 일할 가능성이 높다. 이들이 가지고 있는 전기 분해에 대한 오개념들은 앞으로 남은 교사 교육기간 1년 동안에 급격하게 변화될 것이라고 기대하기는 어렵다. 특히 전기 분해와 관련된 분석화학 과목을 이미 이수하였고, 남은 1년 동안에는 이러한 내용이 포함된 과목을 필수 과목으로 들어야 의무가 없기 때문에 자신들의 생각을 교정하고 변화시킬 기회가 많지 않을 것이다. 이러한 점을 고려한다면 이들이 현직 교사가 된 후 몇 년간 이러한 자신들의 오개념과 교과서의 내용 기술 사이에서 혼란을 가지게 될 가능성을 배제할 수 없다. 이러한 혼란은 이들로부터 학습을 받게 될 학생들에게 영향을 미치게 될 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 교과서의 내용 수정 뿐 아니라, 교사의 재연수 과정과 예비 교사들의 교육 과정에 전기 분해에 관련된 보다 정확하고 깊이 있는 내용의 교육이 이루어질 필요가 있다고 본다.

이 연구 결과에서 흥미로운 점은 예비교사들의 전기분해에 대한 오개념은 현직교사들에 비하여 매우 다양하고 복잡하였으며, 고등학교를 마친 학생들에게서는 나타나지 않았던 비과학적인 개념들이 발견되었다는 점이다. 이는 고등학교까지 배운 과학 교과서를 통해서도 형성되지 않았지만, 아마도 교사양성을 위한 대학교육과정을 통해 형성되었을 가능성이 크다. 대학에서 배운 학습경험이 현직 교사의 개념형성에 영향을 미친다고 주장한 Pardhan 과 Bano(2001)의 연구 결과와, 면담을 통해 현직교사 중 한 명이 밝힌 바와 같이 자신의 개념은 대학에서 배운 지식과 교과서의 내용을 통해 형성된 것이라는 진술을 고려해 볼 때, 중등학교 교육내용과 적절한 연계성이 고려된 예비 교사교육에 대한 연구가 앞으로 필요하다고 본다.

#### 국 문 요 약

이 연구에서는 고등학교 학생들과 화학을 전공하는 예

비 교사들, 그리고 화학교사들을 대상으로 전해질 수용액에서의 전기분해과정에 대한 이해의 정도를 설문과 면담을 통하여 알아보았다. 또한 이들에게 영향을 미치는 요인으로 고등학교 화학 II 교과서의 서술 내용에 대한 분석도 같이 하였다. 연구 결과, 많은 교사들이 전기분해과정에서 산화반응과 환원반응과 전극에 대한 이해는 화학전지와 반대라고 단순히 암기하도록 설명하였다. 그러나 학생들의 이해 수준을 고려할 때, 그 원리를 명확하게 학생들에게 전달할 필요는 없다고 생각하였다. 또한 일부 교사들은 수용액의 전기분해에서 물의 전기 분해는 고려하지 못하는 오류도 발견하였다. 이들은 이미 이온화 된 입자들의 산화환원 반응에만 관심을 가지고 있었으며, 정작 전기분해를 통해 생성되는 물질에 대한 이해는 없는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 고등학생들과 예비교사의 경우에도 유사하였다. 이러한 사고의 원인을 교과서의 서술 방식에서도 찾아볼 수 있었다.

주요어: 오개념, 화학교사, 예비화학교사, 고등학생, 교과교과서, 오개념의 원인, 전기분해

## 참 고 문 헌

김시중, 문정대, 이종면, 구창현, 이상진(2000). 고등학교 화학II. 서울: 금성출판사.

박진희(2003). 화학교사들이 전기화학에서 가지고 있는 개념의 어려움과 원인 분석. 한국교육대학교 석사학위논문.

박원기, 윤석진(1999). 고등학교 화학II. 서울: 지학사.

박택규, 정규철, 김우탁(2000). 고등학교 화학II. 서울: 박영사.

소현수, 윤길수, 이영만, 허성일, 김용원(2000). 고등학교 화학II. 서울: 두산

송호봉, 정용순(2000). 고등학교 화학II. 서울: 형설출판사.

신화정(1998). 전기분해에 대한 과학교사의 이해도 연구. 서울대학교 석사학위논문.

여수동, 여환진, 장영근, 이규옥(2000). 고등학교 화학II. 서울: 청문각.

오제직, 김종희, 박병빈, 최석남(1997). 고등학교 화학II. 서울: 교학사.

우규환, 김강진, 이인길, 여상인(1997). 고등학교 화학II. 서울: 천재교육.

이순희(2002). 다니엘 전지에 대한 오개념 원인 분석 및 실험을 통한 개념변화 연구. 한국교육대학교 석사학위논문.

이운주, 방태철, 이승열(2000). 고등학교 화학II. 서울: 고려서적주식회사.

이원식, 한인섭, 윤용(2000). 고등학교 화학II. 서울: 교학사.

정구조, 류재홍, 이대형(2000). 고등학교 화학II. 서울: 동아서적.

최경희(1997). 중학교 과학교과서에 포함된 과학-기술-사회(STS)내용, 활동유형 및 포함 정도 분석. 한국과학교육학회지, 17, 425.

최병순, 문영삼, 신재섭, 김대수, 현종오(1998). 고등학교 화학II, 한샘출판: 서울.

Allsop, R. T. & George, N. H.(1982). Redox in Nuffield Advanced Chemistry. *Education of Chemistry*, 19, 57.

Barral, F. L., Fernández, G. & Gallástegui Otero, J. R.(1992). Secondary Students' Interpretations of the Process Occurring in an Electrochemical Cell. *Journal of Chemical Education*, 69, 655.

Burke, K. A., Greenbowe, T. J., & Windschitl.(1998). Developing and Using Conceptual Computer Animations for Chemistry Instructions. *Journal of Chemical Education*, 75, 1658.

Butts, B. & Smith, R.(1987). What Do Students Perceive as Difficult in H. S. C Chemistry?. *Australian Science Teachers Journal*, 32, 45.

De Jong, O., Acampo, J., & Verdonk, A.(1995). Problems in Teaching the Topic of Redox Reactions: Actions and Conceptions of Chemistry Teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 1097.

Finely, F. N., Stewart, J., & Yaroch, W. L.(1982). Teachers' Perceptions of Important and Difficult Science Content. *Science Education*, 66, 531.

Garnett, P. J. & Treagust, D. F.(1992a). Conceptual Difficulties Experienced by Senior High School Students of Electrochemistry: Electric circuits and Oxidations-Reduction Equations. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 121.

Garnett, P. J. & Treagust, D. F.(1992b). Conceptual

- Difficulties Experienced by Senior High School Students of Electrochemistry: Electrochemical(Galvanic) and Electrolytic cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 1079.
- Huddle, P. A., White, M. D., & Rogers, F.(2000). Using a Teaching Model to Correct Known Misconceptions in Electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 77, 104.
- Moran, P. J. & Gileadi, E.(1989). Alleviating the Common Confusion Caused by Polarity in Electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 66, 912.
- Morikawa, T. & Williamson, B. E.(2001). Model for Teaching about Electrical Neutrality in Electrolyte Solutions. *Journal of Chemical Education*, 78, 934.
- Ogude, N. A. & Bradly, J. D.(1994). Ionic Conduction and Electrical Neutrality in Operating Electrochemical Cells. *Journal of Chemical Education*, 71, 29.
- Ogude, N. A. & Bradly, J. D.(1996). Electrode Processes and Aspects Relating to Cell Emf, Current, and Cell Components in Operating Electrochemical Cells. *Journal of Chemical Education*, 73, 1145.
- Özkaya, A. R.(2002). Conceptual Difficulties Experienced by Prospective Teachers in Electrochemistry: Half-Cell Potential, Cell Potential, and Chemical and Electrochemical Equilibrium in Galvanic Cells. *Journal of Chemical Education*, 7, 735.
- Pardhan, H. & Bano, Y.(2001). Science teachers' Alternate Conceptions about Direct-currents. *International Journal of Science Education*, 23, 301.
- Runo, J. R. & Peters, D. G.(1993). Climbing a Potential Ladder to Understanding Concepts in Electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 70, 708.
- Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J.(1997a). Common Student Misconceptions in Electrochemistry: Galvanic, Electrolytic, and Concentrations Cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 377.
- Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J.(1997b). Students' Misconceptions in Electrochemistry: Current Flow in Electrolyte Solutions and the Salt Bridge. *Journal of Chemical Education*, 74, 819.
- Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J.(1999). An Analysis of College Chemistry Textbooks As Sources of Misconceptions and Errors in Electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 76, 853.
- Stylianidou, F., Ormerod, F. & Ogborn, J.(2002). Analysis of Science textbook Pictures about Energy and Pupils' Readings of Them. *International Journal of Science Education*, 24, 257.